



Optymalizacja parametrów pieców tunelowych

Optimisation of tunnel kiln parameters

Leszek KOBUS



Piec tunelowy

zdjęcie: PiecoSerwis



W KILKU SŁOWACH

Piec tunelowy do wypalania materiałów ogniotrwałych jest urządzeniem o wysokiej sprawności energetycznej, jednak pod warunkiem, że jest eksploatowany zgodnie z założeniami projektowymi, czyli z nominalną wydajnością, wypalając założone gatunki i asortymenty wyrobów.

Wymagania rynkowe zmuszają do produkowania wyrobów ogniotrwałych, czasami bardzo odmiennych od tych, dla których piec został zaprojektowany. Rezultat jest taki, że piec tunelowy pracuje w bardzo niestabilnych warunkach, co skutkuje z jednej strony nie zawsze zadowalającą jakością wyrobów, a z drugiej strony obniżoną sprawnością energetyczną. Wskaźniki zużycia gazu (energii) na jednostkę produkcji rosną tak znacząco, że nierzadko są bliższe wskaźnikom dla pieców okresowych niż tunelowych.

Problem spadku produkcji materiałów ogniotrwałych oraz wymaganej przez rynek różnorodności gatunków i asortymentów, dotknął szczególnie boleśnie polski przemysł materiałów ogniotrwałych na początku lat 90-tych XX wieku. W Polsce i krajach sąsiednich istnieje ten problem do dzisiaj, w różnej skali zależnej od koniunktury gospodarczej.

Piec tunelowy, który jest narzędziem dla technologa i szefa produkcji, powinien umożliwić realizację zadań produkcyjnych przy zachowaniu jak najwyższej sprawności.

Modernizacja istniejących, ale również budowa nowych pieców tunelowych, powinna uwzględniać zmienność warunków pracy pieca. Takie, z pewną przesadą mówiąc, „uniwersalne” konstrukcje istniejące, zostały sprawdzone w codziennej pracy i zostaną omówione w niniejszym artykule, z niezbędnym zastrzeżeniem, że każdy przypadek jest inny i wymaga szczegółowej pracy przygotowawczej przy czynnym udziale użytkownika pieca.



SUMMARY

A tunnel kiln for firing refractory materials is a highly energy-efficient device provided that it is used in accordance with the design basis, i.e. observing the base efficiency and firing only the approved types and grades of materials.

Production of refractories is mainly determined by market demands. Occasionally, the output materials differ greatly from those specified by the kiln manufacturer. As a consequence, the kiln operates under highly unstable conditions, which results in sometimes unsatisfactory product quality on the one hand, and a lowered energy efficiency rate on the other. The increase in gas (energy) consumption per unit of production is so marked that frequently the indicators' values match those of a periodic rather than a tunnel kiln.

In the early 1990s a decrease in the refractories production rate coupled with limited availability of different types and grades of materials required by the market significantly affected the Polish refractory materials industry. The issue has been affecting Poland and the neighbouring countries to this day, its scale dependent on the respective economies.

As a tool intended for the production engineer and production manager, the function of a tunnel kiln is to perform production tasks at the highest possible efficiency rate.

The modernisation process of both existing and new tunnel kilns should take into consideration variable conditions under which the machine operates. Such—not without some exaggeration—“universal” schemes exist, have been tested in the day-to-day operations, and are discussed in the following article. Nevertheless, it should be stressed that each case is different and therefore requires a thorough preparatory work with an active participation of the kiln operator.



Piec tunelowy do wypalania materiałów ogniotrwałych jest urządzeniem o wysokiej sprawności energetycznej, pod warunkiem jednak, że jest eksploatowany zgodnie z założeniami projektowymi, czyli z nominalną wydajnością, wypalając określone gatunki i asortymenty wyrobów.

Wymagania rynkowe zmuszają do produkowania wyrobów ogniotrwałych, czasami bardzo odmiennych od tych, dla których piec został zaprojektowany. Rezultat jest taki, że piec tunelowy pracuje w bardzo niestabilnych warunkach. Skutkuje to z jednej strony nie zawsze zadowalającą jakością wyrobów, a z drugiej strony obniżoną sprawnością energetyczną. Wskaźniki zużycia gazu (energii) na jednostkę produkcji rosną tak znacząco, że nierzadko są bliższe wskaźników dla pieców okresowych.

Problem spadku produkcji materiałów ogniotrwałych oraz wymaganej przez rynek różnorodności gatunków i asortymentów, dotknął szczególnie boleśnie polski przemysł materiałów ogniotrwałych na początku lat 90 XX w. W Polsce i krajach sąsiednich ten problem istnieje do dzisiaj, w różnej skali zależnej od koniunktury gospodarczej.

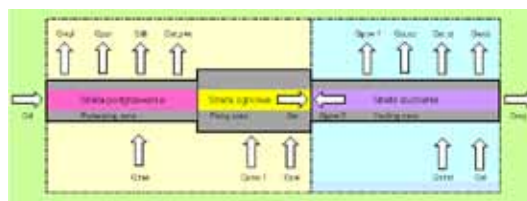
Piec tunelowy, który jest narzędziem dla technologa i szefa produkcji, powinien umożliwić realizację zadań produkcyjnych przy zachowaniu jak najwyższej sprawności.

Modernizacja istniejących, ale również bu-

dowa nowych pieców tunelowych, powinna uwzględniać zmienność warunków pracy pieca. Takie, z pewną przesadą mówiąc, „uniwersalne” konstrukcje istnieją, zostały sprawdzone w codziennej pracy i zostaną omówione w niniejszym artykule, z niezbędnym zastrzeżeniem, że każdy przypadek jest inny i wymaga szczególnej pracy przygotowawczej przy czynnym udziale użytkownika pieca.

Jak uzyskać wysoką sprawność pieca tunelowego?

Poniżej, na rys.1 pokazano schemat typowego lub najbardziej powszechnego pieca tunelowego z opisem składników bilansu cieplnego.



Ciepło wniesione do pieca:

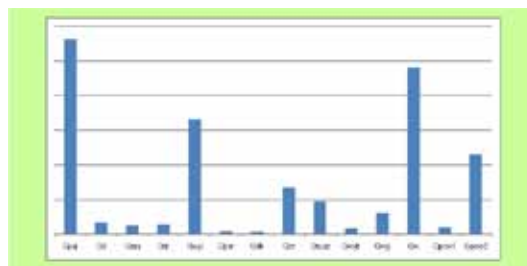
- Q_d - ze wsadem i wózkiem
- Q_{zas} - z powietrzem zasysanym
- Q_{pal} - z paliwem
- Q_{pow1} - z powietrzem pierwotnym
- Q_{zst} - z powietrzem szybkiego studzenia
- Q_w - z powietrzem studzenia

Ciepło przeniesione pomiędzy strefami:

- Q_w - ze wsadem i wózkiem
- Q_{pow2} - z powietrzem wtórnym

Ciepło wyniesione z pieca:

- Q_{wyj} - ze spalinami
- Q_{par} - z odparowaną wilgocią
- Q_{dh} - na dehydratację glin
- $Q_{otp+o} + Q_{ost}$ - do otoczenia
- Q_{pow1} - z powietrzem pierwotnym
- Q_{zst} - z powietrzem do suszarni
- Q_{wyb} - z powietrzem wybijanym
- Q_{wyj} - ze wsadem i wózkiem



Patrząc na schemat typowego pieca tunelowego oraz bilans energetyczny, pokazany na rys. 2, zwracają uwagę pozycje liczbowo największe. To nimi należy się zainteresować przy konstruowaniu lub modernizowaniu pieca, ażeby osiągnąć znaczącą poprawę sprawności.

Ciepło wniesione w paliwie (Q_{pal}) stanowi największą pozycję, stanowi ono jednak wartość wynikową z całego bilansu pieca.

Druga co do wielkości pozycja to strata wylotowa (Q_{wyj}), tym większa im mniej „szczelny” jest piec. Pod pojęciem „szczelności” kryje się nie tyl-





ko uszczelnienie wózków piecowych, zamknięcie piaszkowych i zasuw. To pojęcie szersze związane z cechami konstrukcyjnymi pieca, jak długości stref, wysokość przestrzeni roboczej czy gęstość ustawki.

Kolejna duża pozycja w bilansie to straty do otoczenia (Q_{ot}), co nasuwa wniosek, że przesadna optymalizacja izolacji pieca, ograniczająca koszty inwestycji może się okazać niekorzystna w dłuższym okresie czasu.

I ostatnia już niemała pozycja w bilansie to ciepło wynoszone ze wsadem i wózkiem (Q_{wyj}), pokazuje skuteczność rekuperacji ciepła w strefie studzenia.

Na oddzielną uwagę zasługuje ciepło przenoszone z powietrzem wtórnym (Q_{pow2}) ze strefy studzenia do strefy ogniowej. Ta pozycja bilansu obok straty wylotowej ma kluczowy wpływ na sprawność cieplną pieca tunelowego. Jest powiązana ze stratą ciepła wynoszonego z pieca przez wsad i wózek. Ciepło przenoszone ze wsadem i wózkiem ze strefy ogniowej do strefy studzenia (Q_w) to druga co do wielkości pozycja w bilansie, która w dużym stopniu zależy od pojemności cieplnej trzonów wózków piecowych.

Przytoczona wyżej ogólna wiedza o bilansowaniu pieca tunelowego, dopiero w powiązaniu ze zmienną wydajnością oraz zmiennymi gatunkami i asortymentami, pozwala na realną optymalizację konstrukcji. Optymalizację, która umożliwia uzyskiwanie wysokiej sprawności w zmiennych warunkach, przede wszystkim jednak gwarantując wysoką jakość produkcji. Zmienny czas przebywania wyrobów w piecu i stosowanie różnych krzywych wypalania, wpływające niekorzystnie na sprawność, muszą być „amortyzowane” przez elastyczną konstrukcję pieca z systemem automatycznej regulacji.

W przemyśle materiałów ogniotrwałych przyjęło się opisywanie sprawności pieca tunelowego poprzez podawanie wskaźnika zużycia ciepła na kilogram produkcji. Tabela 1 pokazuje zakres liczbowy wskaźników, które uznaje się za dobre lub akceptowalne.

Projekty zrealizowane

Kryzys w produkcji materiałów ogniotrwałych, zapoczątkowany na początku lat 90-tych XX wieku, zmusił producentów posiadających duże

Gatunek wyrobów Grade of Refractories	Wskaźnik Indicator kcal/kg	Wskaźnik Indicator kJ/kg	Wskaźnik Indicator Nm ³ /t *
Wyroby zasadowe Basic bricks	1100 - 1400	4 600 - 5 860	134 - 170
Wyroby szamotowe Fireclay bricks	550 - 750	2 300 - 3 140	67 - 90
Wyroby wysokoglinowe High-alumina products	600 - 850	2 510 - 3 560	73 - 104

* dla wartości opalowej gazu 8,200 kcal/Nm³ = 34,333 kJ/Nm³

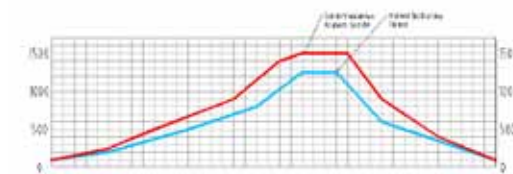
* for calorific value of natural gas 8,200 kcal/Nm³ = 34,333 kJ/Nm³

Tabela 1

piece tunelowe przeznaczone do wielkoseryjnej i jednorodnej produkcji, do modernizacji tych jednostek.

Przykład 1

Jednym z pierwszych zadań wykonanych przez PiecoSerwis było przystosowanie pieca tunelowego do wypalania wyrobów glinokrzemianowych naprzemiennie z wypalaniem klinkieru budowlanego, według krzywych pokazanych na rysunku 3.



Rys. 3

Gatunek wyrobów Grade of Refractories	Wskaźnik Indicator kcal/kg	Wskaźnik Indicator kJ/kg	Wskaźnik Indicator Nm ³ /t *
Wyroby glinokrzemianowe Alumino-silicate refractories t=1480°C	600	2 512	73
Klinkier budowlany Clinker t=1250°C	450	1 884	55

* dla wartości opalowej gazu 8,200 kcal/Nm³ = 34,333 kJ/Nm³

* for calorific value of natural gas 8,200 kcal/Nm³ = 34,333 kJ/Nm³

Tabela 2

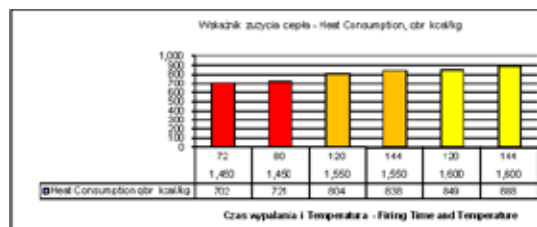
Osiągnięte wskaźniki zużycia ciepła zamieszczono w tabeli 2.

Sprawność pieca tunelowego zarówno przy wypalaniu wyrobów glinokrzemianowych jak również klinkieru budowlanego okazała się bardzo wysoka, porównywalna z jednostkami specjalizowanymi wyłącznie do produkcji jednego gatunku, a inwestor uzyskał możliwość rozszerzenia swojej oferty.

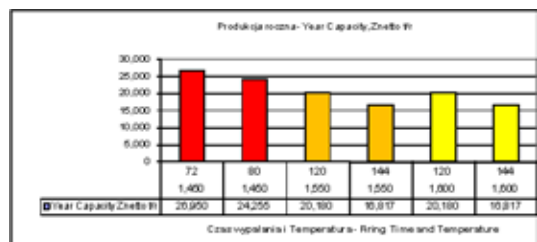
Przykład 2

Piec tunelowy został zmodernizowany ażeby umożliwić wypalanie wyrobów glinokrzemiano-

wych o różnych zawartościach Al_2O_3 w szerokim zakresie asortymentowym, od 3 do 15 kg/szt. Na poniższych rysunkach 4 i 5 pokazano jak zmienia się wskaźnik zużycia ciepła - rysunek 4 oraz wydajność pieca - rysunek 5. Piec pracuje w systemie automatycznym.



Rys. 4



Rys. 5

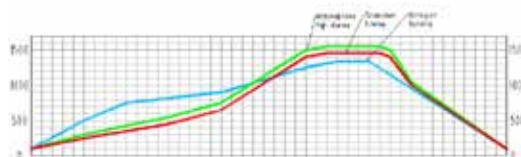
Wykresy pokazują, że właściwie przeprowadzona modernizacja pieca umożliwiła jego eksploatację w bardzo zmiennych warunkach (wydajność zmniejsza się ze 100 do 60% i temperatura maksymalna wypalania zmienia się od 1450 do 1600°C), a sprawność utrzymuje się na wysokim poziomie, takim jak dla pieców pracujących z nominalną wydajnością i niezmienną krzywą wypalania (patrz tabela 1).

Przykład 3

Wyjątkowo nietypowe zamówienie dotyczyło przebudowy pieca tunelowego, w taki sposób aby umożliwić wypalanie wyrobów izolacyjnych z wypalającymi się dodatkami w $t_{max}=1330°C$, wyrobów szamotowych w $t_{max}=1450°C$, jak również wyrobów wysokoglinowych w $t_{max}=1550°C$.

Krzywe wypalania poszczególnych gatunków, pokazane na rys 5, realizowane są w cyklu automatycznym. Zmiana z jednej krzywej na drugą wymaga wprowadzenia 4-6 wózków buforowych.

Zmiana krzywej wypalania odbywa się stopniowo często, czasami co kilka tygodni, a asortyment wypalanych wyrobów bywa zróżnicowany na każdym wózku piecowym. Różnorodność produkcji pokazano w tabeli 3. Pomimo tego, że piec tunelowy jest eksploatowany prawie jak piec okresowy, sprawność pieca utrzymuje się na wysokim poziomie.



Rys.6

Gatunek wyrobów Grade of Refractories	Asortyment Product range kg/szt.	Temp. max. °C	Produkcja Production t/r
Wyroby izolacyjne z wypalającymi się dodatkami Insulating bricks with combustible additions °C	1,6 – 4,4	1 330	25 000
Wyroby szamotowe Fireclay bricks	3,5 – 15,0	1 450	32 000
Wyroby wysokoglinowe High-alumina products	4,0 – 17,0	1 550	19 000

Tabela 3

Najnowszy projekt w realizacji

Przykład 4

Piec tunelowy istniejący posiada zdolność produkcyjną około 90.000 t/r, a zapotrzebowanie wynosi 35.000 do 50.000 t/r. Eksploatacja tak dużego pieca ze znacznie zmniejszoną wydajnością jest możliwa, ale sprawność spada, co oznacza, że zużycie gazu niewiele się zmniejsza wraz ze spadkiem wydajności pieca.

Dopiero modernizacja pieca, w tym odpowiednie skrócenie, oraz właściwy, elastyczny podział na strefy, umożliwił uzyskiwanie wymaganych wydajności z zadowalającą sprawnością. Oczywiście bez uszczerbku dla jakości wyrobów, ponieważ gradienty temperatur są nawet łagodniejsze co pozwala na wypalanie większych i bardziej skomplikowanych formatów.

Stan przed i po modernizacji ilustrują liczby podane w tabeli 4.

		Przed modernizacją Before modernization			Po modernizacji After modernization	
Wydajność roczna Year capacity with combustible additions °C	Zr t/r	92 400	53 900	38 500	53 900	38 500
Zużycie gazu Gas consumption	Vg Nm³/h	1 207	1 017	894	626	475

Tabela 4

autor jest prezesem
PTC Piecoserwis sp. z o.o.



PiecoSerwis®

rok założenia 1988
Established in 1988

OD PROJEKTU DO REALIZACJI POD KLUCZ

from the Project to the turnkey of the investment

● PIECE PRZEMYSŁOWE

industrial furnaces

- tunelowe *tunnel type* - 1750°C
- kręgowo *ring-pit type* - 1350°C
- komorowe *chamber type* - 1600°C
- syntezy *synthesis type* - 720°C
- pirolizy *pyrolysis type* - 850°C
- cynkownicze *galvanizing type* - 560°C

● SUSZARNIE

drying kilns

- obrotowe *rotary type*
- komorowe *chamber type*
- tunelowe *tunnel type*

● HARTOWNIE

hardening shops

- odlewów *of casts*
- prętów *of bars*

● OCYNKOWNIE

galvanizing lines

● WYGRZEWANIE KADZI

ladle heaters

● DOPALACZE

thermal oxidizers

- konwencjonalne *conventional type*
- regeneracyjne *regenerative type*
- odzyskowe *recuperative type*

● AUTOMATYKA I STEROWANIE

automatic control

● SERWIS I TELESERWIS

service and tele-service



Smok Wawelski z palnikiem PiecoSerwisu
The dragon of the Cracow Wawel Hill with PiecoSerwis burner

www.piecoserwis.com.pl

Różnice w sprawności, przed i po modernizacji są bardzo duże. Po modernizacji zmniejszenie zużycia gazu wynosi aż $(1017-626) = 391 \text{ Nm}^3/\text{h}$ (38%) przy wydajności 53 900 t/r oraz $(894-475) = 419 \text{ Nm}^3/\text{h}$ (47%) przy wydajności 38 500 t/r.

Podane liczby są szokujące ale prawdziwe. Powinny uświadomić wszystkim jakie rezerwy sprawności pieców tunelowych są jeszcze do zagospodarowania.

Koszty modernizacji

Realizacja każdego z opisanych wyżej przykładów, była poprzedzona szczegółowym rachunkiem ekonomicznym. Czas zwrotu nakładów inwestycyjnych zawierał się w przedziale od jednego do dwóch lat, przy czym w rachunku uwzględniano tylko efekt zmniejszenia kosztów paliwa.

W rzeczywistości uzyskuje się dodatkowe, często większe efekty ekonomiczne, wynikające ze zmniejszenia ilości braków piecowych, zwiększenia jakości wypalanych wyrobów, możliwości zróżnicowania produkcji, wypalania nowych gatunków i asortymentów, kontroli wypalania, archiwizowania danych i natychmiastowego dostępu do parametrów procesu w systemie on-line.

W artykule wskazano na źródła oszczędności energii, omawiając bilans energetyczny pieca tunelowego. Na zmodernizowanych przez PiecoSerwis piecach pokazano, że wnioski wyciągnięte z analizy bilansów energetycznych prowadzą do powstania konstrukcji wysokosprawnych, a przy tym elastycznych w eksploatacji. Zmienia to zakorzeniony w tradycji obraz pieca tunelowego, z urządzenia o stałych i prawie niezmiennych parametrach pracy, na urządzenie niemalże tak elastyczne w eksploatacji jak piec okresowy, zachowując przy tym wysoką sprawność charakterystyczną dla konwencjonalnego pieca tunelowego. Koszty modernizacji pieca są na ogół tak niewielkie, że zwrot nakładów inwestycyjnych uzyskuje się często po jednym, a najdłużej po dwóch latach. Pozytywne doświadczenia z modernizacji pieców tunelowych PiecoSerwis wykorzystuje również w budowie nowych pieców, nie tylko dla przemysłu materiałów ogniotrwałych.